



**Barcelona  
Supercomputing  
Center**

*Centro Nacional de Supercomputación*

---

DESARROLLO DE SERVICIOS CLIMÁTICOS PARA EL  
SECTOR DE LA ENERGÍA SOLAR Y DEL  
TRANSPORTE AERONÁUTICO BASADOS EN LA  
EXPLOTACIÓN DE UN REANÁLISIS DE POLVO  
ATMOSFÉRICO MINERAL

Memoria Científica

Programa “José Castillejo” para estancias de movilidad  
en el extranjero de jóvenes doctores

Sara Basart

Earth Sciences Department

*Barcelona Supercomputing Center (BSC)*

09 abril 2019

® Copyright 2019

Barcelona Supercomputing Center–Centro Nacional de Supercomputación (BSC-CNS)

C/Jordi Girona, 31 | 08034 Barcelona (Spain)

Library and scientific copyrights belong to BSC and are reserved in all countries. This publication is not to be reprinted or translated in whole or in part without the written permission of the Director. Appropriate non-commercial use will normally be granted under the condition that reference is made to BSC. The information within this publication is given in good faith and considered to be true, but BSC accepts no liability for error, omission and for loss or damage arising from its use.

## Resumen

El presente documento es la memoria científica del proyecto desarrollado durante la visita de la Dra Sara Basart (Departamento de Ciencias de la Tierra del Barcelona Supercomputing Center–Centro Nacional de Supercomputación, BSC) al Instituto Meteorológico Finlandés (Finnish Meteorological Institute, FMI; en sus siglas en inglés). El principal objetivo de la visita fue el desarrollo de servicios climáticos relacionados con el polvo mineral desértico y orientados a energía solar para el norte de África, Oriente Próximo y Europa (NAMEE en sus siglas en inglés). En el presente documento se describen las tareas realizadas, así como los resultados obtenidos.

## Contenido

1. Introducción.....	3
2. Identificación de las necesidades especiales de los usuarios.....	5
3. Diseño de nuevos servicios climáticos de polvo desértico.....	7
3.1. Reanálisis de polvo desértico: Modelo Atmosférico NMMB-MONARCH.....	8
3.2. Análisis de los impactos: Metodología.....	10
3.2.1. Análisis de los impactos en la energía solar.....	10
3.2.2. Análisis de los impactos en el sector aeronáutico.....	11
4. Referencias.....	12

## Índice de figuras

Figura 1. Relación entre exposición versus concentración de cenizas y polvo mineral, o tabla de DEvAC (Figura 1 de Clarkson and Simpson, 2017). Las características fundamentales del cuadro son: la escala log-log, la representación de las concentraciones sobre las cuales ceniza o el polvo mineral comienza a hacerse visible con buena luz, la concentración de ceniza o polvo mineral alrededor de la cual se obtienen imágenes satelitales multi-espectrales. Empieza a discernir las cenizas. Convención para diferenciar entre círculos o elipses para la exposición a cenizas volcánicas y la arena o el polvo.....6

Figura 2. Relación entre densidad de deposición (deposition density) y reducción de la energía (power output reduction) para diferentes tamaños de partículas, Sarver et al. (2013). Factores importantes (Sarver et al., 2013) son: la densidad de la capa de tierra, la distribución de tamaños de las partículas y la composición química.....6

Figura 3. Concentración de polvo desértico del modelo NMMB-MONARCH (escala de colores), localización de aeropuertos comerciales (puntos) y rutas comerciales (líneas verdes).....8

Figura 4. Derecha: Espesor óptico de aerosoles asociado solo al polvo desértico (Dust AOD) promedio mensual para febrero y marzo de 2012 para el experimento de control (sin asimilación de observaciones, recuadro azul) y el análisis (con asimilación de productos de polvo del sensor MODIS, recuadro rojo). Izquierda: Serie temporal de Dust AOD para el año 2012 en la estación de la red AERONET de IER Cinzana en el Sahel para los dos experimentos: control (azul) y análisis (rojo). Las observaciones corresponden a los triángulos negros y solo se consideran situaciones en el polvo es dominante.....9

# 1. Introducción

En la última década, se reconoce cada vez más el papel crucial de las tormentas de arena y polvo (SDS en sus siglas en inglés) sobre la meteorología, el clima y los ecosistemas. Las SDS pueden interrumpir seriamente las comunicaciones, así como el transporte terrestre y aéreo. Incluso las concentraciones moderadas de polvo desértico afectan a sistemas de producción de radiación solar, dañan las tierras de cultivo, y comprometer la calidad del aire y la salud humana.

Ha habido y hay algunos proyectos científicos a nivel europeo e internacional sobre aerosoles atmosféricos en general y algunos sobre polvo desértico que cubren aspectos como la modelización y predicción (por ejemplo, MACC and MACC-II-III, AEROCOM, ICAP and EuMetChem), la observación del estado de la atmósfera (por ejemplo, EMEP, AMMA, ACTRIS and ACTRIS-2; EARLINET, CARAGA, LALINET, GAW, GALION, AERONET, CV-Project, AEROSAT, AEROSOL-CCI and GEO-CRADLE), riesgos en el sector aeronáutico (Daedalus), efectos en la calidad del aire (EC Life+ DIAPASON, EC Life+ AIRUSE), salud (EC Life+ MEDparticles) y energía solar (DNICAST, WASCOP, IE SHC and SolarPACES).

Reaccionando a las preocupaciones sobre las SDS, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) apoyó el lanzamiento del para el Sistema de Avisos y Evaluación de Tormentas de Polvo y Arena (SDS-WAS). La misión de SDS-WAS es proveer el acceso a unos pronósticos de SDS de calidad, así como a observaciones e información a los usuarios. El Barcelona Supercomputing Center-Centro Nacional de Supercomputación (BSC) y la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) fueron las instituciones designadas para albergar y gestionar el Centro Regional para norte de África, Oriente Próximo y Europa (<http://sds-was.aemet.es/>) que consiste en una red internacional de institutos de investigación y centros operacionales de pronóstico de polvo desértico (y aerosoles en general). Más recientemente y en vista de la demanda de algunos servicios meteorológicos y de los buenos resultados del SDS-WAS, durante la 65ª sesión del Consejo Ejecutivo de la OMM designó el mismo consorcio, formado por el BSC y AEMET, para crear el primer Centro Meteorológico Regional Especializado en la Predicción de Tormentas de Polvo y Arena de la OMM en Barcelona, denominado Barcelona Dust Forecast Center. El Centro Regional operacional fue creado en febrero de 2014 (<http://dust.aemet.es/>) y tiene como mandato generar y distribuir pronósticos diarios de polvo desértico.

Comprender, gestionar y mitigar los riesgos asociados a las SDS requiere una acción fundamental e interdisciplinaria, de conocimiento respaldado por investigación científica de vanguardia, de disponibilidad de información sobre las tendencias pasadas de SDS así como las condiciones actuales, la provisión de pronósticos y proyecciones adaptadas a una diversidad de usuarios y la capacidad de utilizar la información de manera efectiva. Actualmente, todos estos requisitos se enfrentan a grandes desafíos. Estos desafíos incluyen la falta de información sobre polvo desértico en muchos países afectados por SDS (en regiones desérticas como el Sáhara) y la muy limitada integración de información y pronósticos de polvo desértico en la toma de decisiones a escala local y regional. Otros impedimentos incluyen una falta de conocimiento sobre el papel de las SDS en ciertos sectores socioeconómicos, una falta de productos “a medida” para aplicaciones específicas, de concienciación, conocimiento, capacidad o estructuras donde almacenar y usar la información, y el reto de incorporar estos nuevos productos en prácticas de gestión.

Las líneas de investigación del Departamento de Ciencias de la Tierra del BSC se centran en proporcionar una mayor comprensión y mejora de modelos de calidad del aire, modelos de predicción de polvo desértico y modelos

meteorológicos, así como simulaciones del clima a escalas globales y regionales. Así, el BSC mantiene un sistema de predicción de la calidad del aire llamado CALIOPE ([www.bsc.es/caliope](http://www.bsc.es/caliope)) para España y Europa. El BSC también mantiene predicciones diarias de polvo desértico a escalas globales y regionales (para norte de África, Oriente Medio y Europa) que se utilizan como pronóstico de referencia en el Centro Meteorológico Regional Especializado en Predicción de Tormentas de Polvo y Arena de Barcelona de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) también conocido como Barcelona Dust Forecast Center (BDFC, <https://dust.aemet.es/>). Por otro lado, la OMM lanzó la iniciativa, junto a otras instituciones colaboradoras a nivel internacional, para desarrollar e implementar un Sistema de Alertas y Evaluación de Tormentas de Polvo y Arena (SDS-WAS). Los modelos de predicción de polvo mineral del BSC participan en los pronósticos diarios del Centro Regional del SDS-WAS.

Otro de los principales objetivos que busca el BSC es el de facilitar la interpretación y aplicación de sus investigaciones para avanzar en el desarrollo sostenible en sectores socio-económicos clave (como por ejemplo, energía, transporte o salud). El Departamento de Investigación en Meteorología e Impactos del Cambio Climático del Instituto Meteorológico Finlandés (FMI; en sus siglas en inglés) es un grupo referente a nivel internacional en investigaciones sobre el impacto del cambio climático para apoyar la adaptación al cambio climático y las evaluaciones de riesgos. El FMI tiene mucha experiencia en el desarrollo de los servicios climáticos a nivel finlandés y del Centro Regional del Clima Ártico de la OMM. La experiencia adquirida por el BSC en predicción de polvo atmosférico desértico, así como la experiencia del FMI en el desarrollo de "servicios climáticos" es aplicada en el presente proyecto para el desarrollo nuevos productos orientados relacionados con el polvo desértico en el sector de la energía solar y el transporte aeronáutico. La presente visita se enmarca en las actividades del proyecto DustClim el cual es parte del Área Europea de Investigación para los Servicios Climáticos (ERA4CS, en sus siglas en inglés). DustClim empezó en otoño de 2017 y tiene por objetivo desarrollar por primera vez productos orientados a sectores socio-económicos clave (como salud, transporte y energía) para el norte de África, Oriente Medio y Europa. Ambas instituciones (el FMI y el BSC) participan en el proyecto DustClim. Además estos nuevos "servicios climáticos de polvo desértico" serán incorporados a los productos que proporciona el Centro Regional del SDS-WAS (<https://sds-was.aemet.es/>).

El principal objetivo del presente proyecto ha sido el desarrollo de servicios climáticos relacionados con el polvo desértico mineral para el sector de la energía solar y del transporte aéreo teniendo en cuenta las necesidades específicas de los usuarios. Los servicios asociados al polvo desértico son un nuevo paradigma dentro de la definición de "servicios climáticos" que suelen relacionarse con simulaciones climáticas que solo tienen en cuenta variables meteorológicas. El mayor obstáculo para reconstruir información completa sobre el polvo desértico del pasado es la escasez de observaciones históricas y rutinarias, particularmente en los países más afectados por SDS. Las simulaciones proporcionadas por los modelos atmosféricos se pueden usar para "completar los espacios en blanco" y superar la escasa cobertura y la baja resolución temporal e información parcial provista por las observaciones disponibles y poder así desarrollar dichos servicios climáticos relacionados con el polvo desértico. Así, otra componente importante para el desarrollo de "servicios climáticos" son los usuarios. La comunicación entre científicos y comunidades de usuarios tiene que ser continua y cercana para poder establecer prioridades e identificar sus necesidades. En este proceso, podremos mejorar la comprensión del papel de las SDS en el sector socioeconómico considerado (en el caso del presente proyecto el de la producción solar y transporte aeronáutico), al tiempo que mejoraremos nuestro conocimiento sobre la interacción de las SDS en dicha actividad y desarrollar las capacidades para usar la información obtenida.

Para alcanzar los objetivos planteados en el presente proyecto se consideraron las siguientes actividades:

- La identificación de las necesidades especiales de los usuarios de plantas solares y del sector del

transporte aeronáutico en relación a la presencia de polvo atmosférico (Actividad 1)

- Diseño de nuevos servicios climáticos para energía solar y el sector del transporte aeronáutico basados en las necesidades identificadas por los usuarios y una climatología de polvo obtenida a partir de un reanálisis de polvo basado en el modelo NMMB-MONARCH (Actividad 2)

## 2. Identificación de las necesidades especiales de los usuarios

Además de los efectos climáticos de las partículas de polvo, las SDS representan un grave peligro para la vida, salud, propiedad, medio ambiente y economía en muchos países, especialmente en Oriente Medio y África del Norte. La presente sección se centra en la identificación de los impactos de las SDS en **plantas solares**, así como en la **gestión del transporte aeronáutico** (Actividad 1).

Durante el desarrollo del proyecto se contactaron expertos en la gestión de plantas solares (i.e. DLR y ABENGOA), así como diferentes actores involucrados en la gestión del transporte aéreo (i.e. EUROCONTROL). Además, Sara Basart (BSC) así como los investigadores del FMI, Athanasios Votsis y Anders Lindfors, participaron en diferentes eventos que contaban con la participación de expertos en estos ámbitos. Dichos eventos se organizaron en el contexto de Acción COST inDust (<https://cost-indust.eu/events/indust-events>) y se detallan a continuación:

- Reunión de usuarios del sector de la energía solar para el uso de productos de polvo del desierto, Offenbach, Alemania, 19-20 febrero 2019
- Reunión de usuarios del sector del sector aeronáutico para el uso de productos de polvo del desierto, Cranfield, Reino Unido, 14-15 marzo 2019

Además, Sara Basart formó parte de grupo de expertos que participó en el “inDust Training School on Dust Products” que tuvo lugar en Aveiro (Portugal) el 4-6 de febrero de 2019 en el que se presentó los resultados preliminares del presente proyecto, así como su contexto. Este evento contó con la participación de estudiantes de doctorado y técnicos de la administración pública portuguesa.

Durante estos eventos, se revisaron los impactos y consecuencias de la presencia de polvo desértico en una planta solar (para la gestión y el mantenimiento) y en la producción de energía solar (impacto de la presencia de polvo en el campo de la irradiancia solar) así como en gestión de transporte aeronáutico (cierre de aeropuertos debido a la reducción de visibilidad o el mantenimiento de los aviones).

Como primera aproximación, nos centramos en el lado de la oferta (cómo las tormentas de arena y polvo, SDS, afectan la cantidad o la calidad de los servicios de aviación / solar prestados por los productores). Después de esta primera aproximación que incluye el presente proyecto, en el futuro se podría considerar el lado de la demanda (cómo la SDS afecta la cantidad / calidad de los servicios necesarios) por el público. El análisis de la literatura técnica (ver Votsis et al., 2018) ha identificado (hasta ahora,) las siguientes amenazas objetivas, que serán el enfoque de los productos de análisis de impacto:

- [Aviación] Visibilidad, que afecta las reglas de vuelo y aproximación, según el aeropuerto ILS / CAT
- [Aviación] Concentración de arena / polvo, que afecta la degradación del motor y la parada / flama (ver Figura 1)

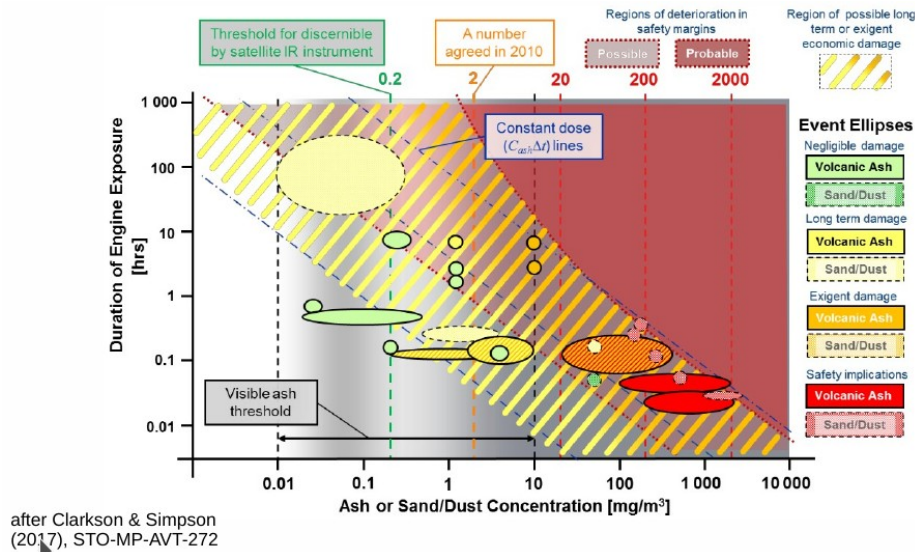


Figura 1. Relación entre exposición versus concentración de cenizas y polvo mineral, o tabla de DEvAC (Figura 1 de Clarkson and Simpson, 2017). Las características fundamentales del cuadro son: la escala log-log, la representación de las concentraciones sobre las cuales ceniza o el polvo mineral comienza a hacerse visible con buena luz, la concentración de ceniza o polvo mineral alrededor de la cual se obtienen imágenes satelitales multi-espectrales. Empieza a discernir las cenizas. Convención para diferenciar entre círculos o elipses para la exposición a cenizas volcánicas y la arena o el polvo.

- [Solar] Suciedad (también conocido como “soiling”, ver Figura 2)
- [Solar] Reducción de la irradiación solar, directa (absorción / dispersión) e indirecta (formación de nubes)

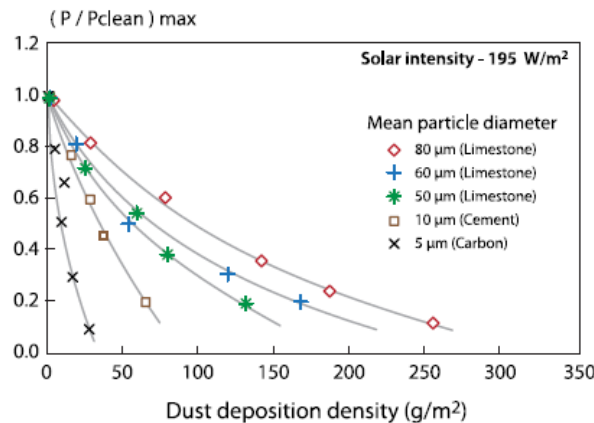


Figura 2. Relación entre densidad de deposición (deposition density) y reducción de la energía (power output reduction) para diferentes tamaños de partículas, Sarver et al. (2013). Factores importantes (Sarver et al., 2013) son: la densidad de la capa de tierra, la distribución de tamaños de las partículas y la composición química.

Las amenazas objetivas anteriores abren posibilidades para productos adicionales de análisis de impacto:

- [Aviación] Cancelación, reencaminamiento, patrones de retardo
- [Aviación] Costo de mantenimiento del motor y disponibilidad de aeronaves
- [Aviación] Planificación estratégica para equipos ILS / CAT



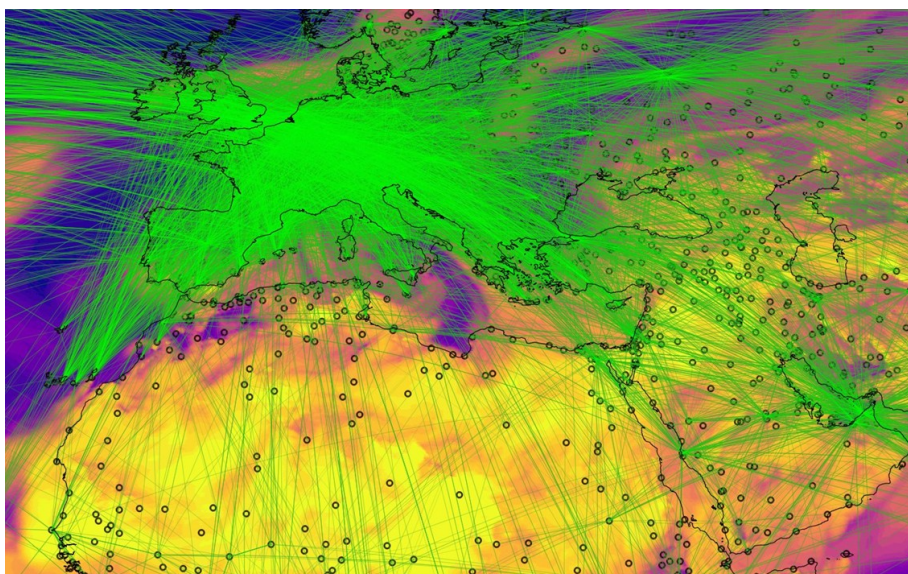
- [Solar] Ubicaciones óptimas / sub-óptimas para instalaciones industriales y domésticas
- [Solar] Prácticas de limpieza en conjunto con la disponibilidad de agua.
- [Solar] Comunidades que dependen de la energía solar y están excluidas de la red nacional

### 3. Diseño de nuevos servicios climáticos de polvo desértico

Combinando simulaciones de modelos con observaciones de satélites, se puede generar un reanálisis que proporcionen una base de datos completa y homogénea que puede proporcionar información sobre la variabilidad y las tendencias del polvo desértico sobre el área de estudio y que se usará para el desarrollo de “servicios climáticos de polvo desértico” para el sector de energía solar y del transporte aéreo. Para el presente proyecto se ha considerado los pronósticos de polvo desértico proporcionados por el modelo atmosférico NMMB-MONARCH en combinación con las herramientas del FMI para el análisis socioeconómico de los impactos económicos del polvo desértico.

Como primer paso, se recopilaron bases de datos sobre aspectos socioeconómicos que serán usados en el posterior análisis del impacto socio-económico de la presencia de polvo en los sectores considerados (Tarea 2.1). Estas bases de datos incluyen información sobre:

- Densidad población
- Infraestructuras (ver Figura 3)
  - o Red de aeropuertos: coordenadas, Clasificación ILS / CAT de pistas de aeropuertos, capacidad, flujos usuales
  - o Red de transporte terrestre: representación geográfica (incluyendo densidad y capacidad), capacidad, tiempos de viaje



*Figura 3. Concentración de polvo desértico del modelo NMMB-MONARCH (escala de colores), localización de aeropuertos comerciales (puntos) y rutas comerciales (líneas verdes).*

### 3.1. Reanálisis de polvo desértico: Modelo Atmosférico NMMB-MONARCH

El Departamento de Ciencias de la Tierra del Centro Nacional de Supercomputación (BSC) desarrolla y mantiene el modelo NMMB-MONARCH (Pérez et al., 2011; Haustein et al., 2012; Jorba et al., 2012; Spada et al., 2013; Badia and Jorba, 2016; Basart et al. 2016; Di Tomaso et al., 2017). Se trata de un modelo meteorológico y de calidad del aire para aplicaciones globales y regionales. Resuelve el ciclo de vida de los aerosoles y la química troposférica considerando la interacción de los aerosoles con la meteorología (i.e. es un modelo “online”) y que incluye un sistema de asimilación de datos, indispensable para desarrollar una simulación de reanálisis. Actualmente, el sistema se emplea para generar predicciones de transporte de polvo mineral al Centro Regional Norte de África, Oriente Medio y Europa de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) para el Sistema de Avisos y Evaluación de Tormentas de Polvo y Arena (SDS-WAS; en sus siglas en inglés). Además, el modelo NMMB/BSC-Dust (el módulo de polvo mineral del modelo NMMB-MONARCH) ha sido seleccionado como el sistema de modelización de referencia para el Centro Meteorológico Regional Especializado en Predicciones de Tormentas de Arena y Polvo de la OMM, denominado Barcelona Dust Forecast Center. Adicionalmente, resultados de simulaciones globales se están proporcionando a la iniciativa International Cooperative for Aerosol Prediction (ICAP).

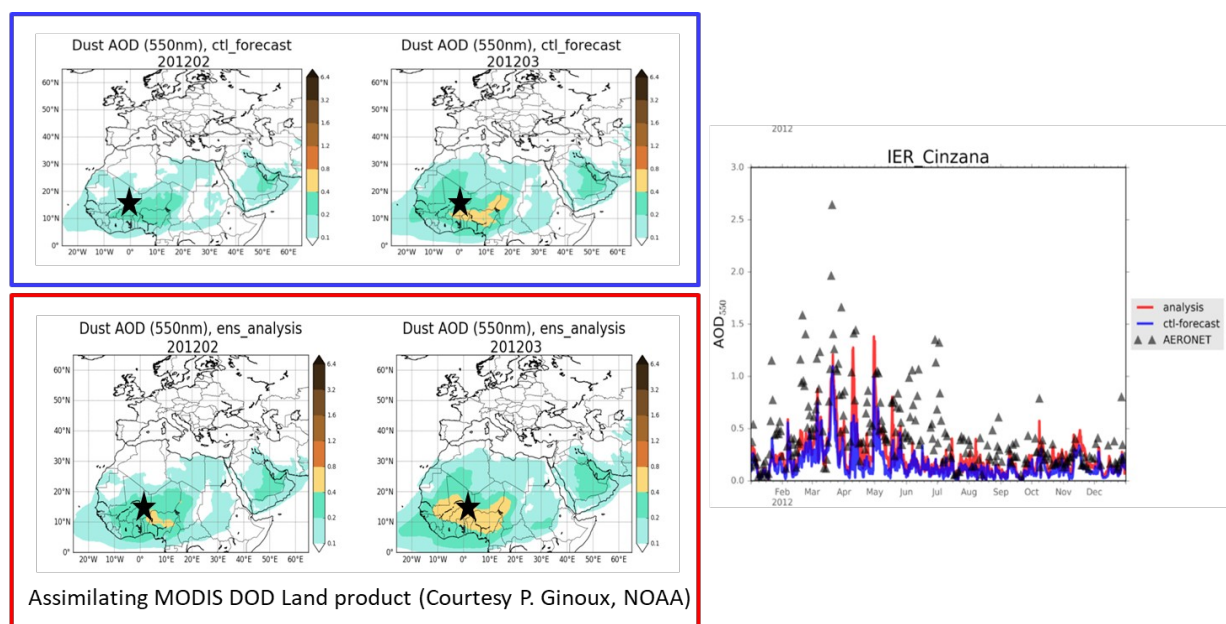


Figura 4. Derecha: Espesor óptico de aerosoles asociado al polvo desértico (Dust AOD) promedio mensual para febrero y marzo de 2012 para el experimento de control (sin asimilación de observaciones, recuadro azul) y el análisis (con asimilación de productos de polvo del sensor MODIS, recuadro rojo). Izquierda: Serie temporal de Dust AOD para el año 2012 en la estación de la red AERONET de IER Cinzana en el Sahel para los dos experimentos: control (azul) y análisis (rojo). Las observaciones corresponden a los triángulos negros y solo se consideran situaciones en el polvo es dominante.

Para el presente proyecto se ha estado configurando el modelo para poder producir una climatología de polvo de alta resolución (10km x 10km) que incluye la distribución espacio-temporal de ocurrencia e intensidad de SDS en la

región del norte de África, Oriente Próximo y Europa obtenida a partir de una simulación del modelo NMMB-MONARCH en el que se incluye la asimilación de datos de satélite filtrados para solo considerar situaciones dominadas por polvo del desierto (Figure 4) , i.e. el desarrollo de un reanálisis de “solo” polvo desértico. Este es un reanálisis único que pretende proporcionar la mejor información posible para aquellas regiones en que no se dispone de otras fuentes de información como son observaciones de redes terrestres.

Para ello se realizaron las siguientes tareas asociadas a la producción del reanálisis de polvo del desierto:

- Compilación de observaciones de polvo de que se asimilarán durante la ejecución del reanálisis
  - o Identificación y compilación de las observaciones de aerosoles necesarias y sus correspondientes controles de calidad que pueden ser asimiladas;
  - o Identificación de los métodos para poder filtrar la contribución de polvo de las observaciones de aerosoles totales previamente identificadas.
  - o Identificación de otras observaciones de aerosoles (independientes a las consideradas durante la asimilación) que serán usadas como referencia para desarrollar un modelo para definir la incertidumbre de la observación.
- Aplicación de filtros para la obtención de la contribución de polvo mineral sobre la carga total de aerosoles en los productos satelitales (así como la correspondiente incertidumbre) que se han sido seleccionados para ser asimilados en el reanálisis (i.e. MODIS)
- Ejecución de la simulación en plataformas HPC
  - o Desarrollo y mejora del administrador del flujo de los diferentes procesos para la ejecución del experimento (“Workflow manager”) para optimizar el tiempo de cálculo
  - o Desarrollo y mejora de los esquemas de emisión de polvo del modelo:
    - Implementación de nuevas bases de datos de fuentes de emisión (basado en MODIS DB) y de vegetación.
    - Implementación de un esquema mejorado de “drag partition” para mejorar la estimación del umbral de velocidad de fricción para la emisión.
    - Implementación del reciclado diario de la humedad del suelo.
  - o Implementación de nuevas rutinas en modelo para incluir nuevas variables que fueron identificadas en la lista de requerimientos por parte de los usuarios y que no estaban disponibles como son el cálculo de direct normalised irradiance (DNI) y global horizontal irradiance (GHI) en el módulo radiativo del modelo.
- Estandarización del formato en formato NetCDF-4 y siguiendo las convenciones de nombre y unidades para las variables seleccionadas a partir de los requerimientos identificados.

El retraso en la ejecución de la simulación se ha debido a algunos problemas técnicos durante la instalación y compilación del modelo en el supercomputer MareNostrum 4 que fue inaugurado en julio de 2018. Con el cambio de arquitectura en la máquina, no se alcanzó una configuración estable del modelo NMMB-MONARCH hasta noviembre 2018, que fue cuando se iniciaron los experimentos de sensibilidad para poder alcanzar la configuración final considerada en el presente proyecto. Esto ha introducido un retraso en la ejecución del reanálisis y en el desarrollo del presente proyecto. Actualmente, se están desarrollando los últimos experimentos para poder alcanzar la configuración final del modelo y poder ejecutar un reanálisis de 15 años (en el proyecto presente solo se habían considerado 5 años) que se prevé estará disponible en agosto de 2019. A pesar de esta demora, se usaron ficheros de test del modelo NMMB-MONARCH para poder desarrollar toda la parte técnica necesaria para que se puedan ingestar en un Sistema de Información Geográfica (GIS en sus siglas en inglés). Los sistemas GIS permiten varias

aplicaciones para la captura, edición, análisis, tratamiento, diseño, publicación de información geográfica. Este tipo de software es usado por el grupo de Departamento de Investigación en Meteorología e Impactos del Cambio Climático del FMI para el análisis de los resultados. Es por este motivo que se añadió el sector del transporte aeronáutico (inicialmente no considerado) en el proyecto.

## 3.2. Análisis de los impactos: Metodología

Esta sección recoge los resultados y conclusiones del estudio de los impactos económicos de la presencia de polvo desértico mediante el uso de modelos económicos desarrollados durante el presente proyecto en el FMI para el sector de la energía solar (sección 3.2.1) y la gestión del tráfico aéreo (sección 3.2.2).

### 3.2.1. Análisis de los impactos en la energía solar

Los modelos económicos desarrollados en el presente proyecto consideran la reducción de la irradiancia solar debida a la presencia del polvo desértico o la reducción del rendimiento de las placas solares debido al depósito de polvo desértico sobre las placas (también conocido como *soiling*) entre otros. En la gestión de sistemas de energía, la parada de los sistemas es un tipo común de indicador que puede ser trasladado a costes extras. Además, este análisis permitirá establecer incertidumbres asociadas a las estimaciones del impacto del polvo desértico en la producción de energía solar así. Básicamente dichos modelos evalúan los efectos de la SDS en dos aspectos: producción de energía reducida debido a la **irradiancia reducida causada por la SDS**; y menor producción de energía debido a la **acumulación de polvo causada por SDS**.

#### NIVEL DE PRODUCTO 1

##### Ensuciamiento

- Mapas de suciedad (o soiling) que cubren tres aspectos:
  - Espesor de la capa de deposición
  - Distribución del tamaño de partículas depositadas.
- Deposición o factor de atenuación
- Para el clima actual

##### Radiación (salida del modelo NMMB-MONARCH)

- El modelo NMMB-MONARCH incluye un modelo de transferencia por radiación que permite incluir el efecto directo de los aerosoles en el cálculo de la radiación atmosférica
- Entender la radiación antes de que llegue al panel
- Comunicado como mapas para el clima actual
- Hacer el análisis por tipo de panel (CSP o PV)

##### Salida de energía

- Calcular la reducción en la producción de energía, por tecnología de panel principal
- Para la reducción de la irradiancia y para la deposición
- Variables de entrada: radiación, temperatura, viento
- Comunicado como mapas para el clima actual

#### NIVEL DE PRODUCTO 2

#### Prácticas de limpieza

- De parques energéticos e instalaciones industriales
- Incluyendo consideraciones de disponibilidad de agua
- Posibilidad de considerar amenazas compuestas: SDS + sequía + mayor demanda de enfriamiento

#### Casos especiales

- Comunidades aisladas o minorías (la identificación de esas comunidades es un problema, pero las compañías que venden paneles solares a esas comunidades proporcionan cierta información)
- Áreas con gran dependencia de la energía solar

### 3.2.2. Análisis de los impactos en el sector aeronáutico

Este análisis se centra en los vuelos comerciales, así como la aviación ligera. El análisis de impacto comienza con la asociación de los mapas de umbrales de concentración y visibilidad con información espacial temporal que describe las características principales de las operaciones aeroportuarias, y continúa explorando lo que esa asociación implica para demoras, cambios de ruta y cancelaciones.

El análisis de impacto final utilizará los métodos y herramientas de GIS y producirá una serie de resultados científicos resueltos espacial y temporalmente, que pueden servir como ejemplos de cómo podrían verse los productos de los usuarios finales, y constituir la base para el desarrollo de servicios climáticos SDS en el futuro. Consideramos esos resultados científicos como "productos intermedios" y pretendemos incluir lo siguiente:

#### NIVEL DE PRODUCTO 1

##### Mapas de concentración de polvo desértico

- Valores de concentración de polvo desértico, resueltos verticalmente a varios niveles de altitud
- Duración de la exposición a SDS, resuelta verticalmente a varios niveles de altitud
- Valores de visibilidad, basados en la extinción del modelo y / o concentración de masa

#### NIVEL DE PRODUCTO 2

##### Mapas de umbral, resueltos verticalmente en varios niveles de altitud

- Mapas de superación de umbral:
  - Motor (concentración, duración / acumulación de exposición)
  - Visibilidad
- Tendencias de esas superaciones en el futuro (a ser discutidas con los modeladores)

#### NIVEL DE PRODUCTO 3

##### Identificación de áreas que son puntos calientes (hotspots) estadísticos.

- Análisis de hotspot en polvo desértico y mapas de umbrales.
- Análisis de hotspot sobre el tráfico aeroportuario (flujos y / o puntos)
- Análisis de hotspots combinados [clima bivariado - redes aéreas / terrestres]
- Mapas de hotspot
- Mapas de tendencias hotspot.

## NIVEL DE PRODUCTO 4

Estimaciones de los impactos del horario de vuelo: números de incidencia y pérdida de euros

- retrasos
- cancelaciones
- *rerouting* (cambios de ruta)

Planificación estratégica del equipamiento del aeropuerto ILS / CAT (áreas que necesitan actualización)

Costos de mantenimiento del motor y disponibilidad de aeronaves.

Como ya se ha mencionado anteriormente, debido a los retrasos en la ejecución del reanálisis de polvo desértico, así como la menor duración de la estancia, no ha sido posible completar la tarea sobre la evaluación de los riesgos asociados a la presencia de polvo del desierto en el sector de la energía solar (Tarea 2.3). Esta última tarea se realizará a lo largo de este año en el marco del proyecto DustClim.

Estos resultados no sólo ayudarán a la comunidad científica en el desarrollo de nuevas metodologías alrededor de los “servicios climáticos” sino también para el desarrollo de las capacidades para el uso de la información generada entre gestores de plantas solares y tráfico aeronáutico. Estos resultados podrán expandirse a otros sectores socioeconómicos como serían el de salud.

## 4. Referencias

Badia, A., & Jorba, O. (2016). Gas-phase evaluation of the online NMMB/BSC-CTM model over Europe for 2010 in the framework of the AQMEII-Phase2 project. *Atmospheric Environment*, 115, 657-669.

Di Tomaso, E., Schutgens, N. A. J., Jorba, O. & Pérez García-Pando, C. (2016). Assimilation of MODIS Dark Target and Deep Blue observations in the dust aerosol component of NMMB/BSC-CTM version 1.0, *Geosci. Model Dev. Discuss.*, doi:10.5194/gmd-2016-206.

Haustein, K., Pérez, C., Baldasano, J. M., Jorba, O., Basart, S., Miller, R. L., ... & Washington, R. (2012). Atmospheric dust modeling from meso to global scales with the online NMMB/BSC-Dust model Part 2: Experimental campaigns in Northern Africa. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12(L03812), 2933-2958.

Jorba, O., Dabdub, D., Blaszcak-Boxe, C., Pérez, C., Janjic, Z., Baldasano, J. M., ... & Gonçalves, M. (2012). Potential significance of photoexcited NO<sub>2</sub> on global air quality with the NMMB/BSC chemical transport model. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 117(D13).

Clarkson, R., & Simpson, H. (2019) Maximising Airspace Use During Volcanic Eruptions: Matching Engine Durability against Ash Cloud Occurrence, WMO Technical report.

Pérez, C., Haustein, K., Janjic, Z., Jorba, O., Huneeus, N., Baldasano, J. M., ... & Perlwitz, J. P. (2011). Atmospheric dust modeling from meso to global scales with the online NMMB/BSC-Dust model—Part 1: Model description, annual simulations and evaluation. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(24), 13001-13027.

Sarver, T., Al-Qaraghuli, A., & Kazmerski, L. L. (2013). A comprehensive review of the impact of dust on the use of solar energy: History, investigations, results, literature, and mitigation approaches. *Renewable and sustainable energy Reviews*, 22, 698-733.

Votsis, A., T. Rautio, K. Pilli-Sihvola, S. Basart & E. Terradellas (2018), Assembly of user-specific preliminary information (end user needs, thresholds, and guidelines) compiled by interacting with aviation liaisons and solar energy liaisons, ERA4CS DustClim, Work Package 3: Products – Services, Technical report.

